

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIROMENTÁLNÍHO  
MODELOVÁNÍ



Bakalářská práce

**Nakládání s odpadními vodami v průběhu historie a  
jejich dopad na životní prostředí**

Autor práce: Robin Velhartický

Vedoucí práce: Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.

2023

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Robin Velhartický

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

**Nakládání s odpadními vodami v průběhu historie a jejich dopad na životní prostředí**

Název anglicky

**Wastewater management throughout history and its impact on the environment**

---

### Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je zpracování literární rešerše na téma odpadních vod. V práci bude přibližena problematika zpracovávání těchto vod již od rané historie až po současnost a jejich dopadu na životní prostředí.

### Metodika

Literární rešerše bude zpracována na základě odborných článků, knih a také platných zákonů. Z relevantních zdrojů na téma bakalářské práce bude ucelen text, který vystihuje vývoj zpracovávání odpadních vod již od starověku po moderní dobu a celkový dopad těchto vod na životní prostředí. Práce bude zakončena diskusí a závěrem na základě získaných informací.

**Doporučený rozsah práce**

30-50 stran

**Klíčová slova**

odpadní voda, průmysl, čištění vod, historie

---

**Doporučené zdroje informací**

Andreas N. Angelakis and Joan B. Rose. Evolution of sanitation and wastewater technologies through the centuries. IWA Publishing, 2014.

Giusy Lofrano and Jeanette Brown. Wastewater management through the ages: A history of mankind. Science of the Total Environment, 408(22):5254–5264, 2010.

Syed R. Qasim and Guang Zhu. Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples, Volume 2: Post-Treatment, Reuse, and Disposal. CRC press, 2017.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2022/23 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2023

**prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 2. 2023

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 27. 02. 2023

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Nakládání s odpadními vodami v průběhu historie a jejich dopad na životní prostředí vypracoval/a samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou/závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské/závěrečné práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne: .....

Podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce, panu Ing. Martinu Heřmanovskému, Ph.D. za odborné rady, připomínky a celkovou odbornou pomoc při zpracovávání této bakalářské práce. Mé poděkování také patří mé rodině a přítelkyni, za psychickou podporu.

## **Abstrakt**

Hlavním tématem této bakalářské práce je zpracování dostupných a relevantních informací ohledně problematiky odpadních vod. V práci jsou popsány různé druhy odpadních vod a principy jejich zpracovávání v dřívějších dobách a jak je tomu dnes. Dále práce pojednává o znečišťujících látkách obsažené v různých odpadních vodách a jejich únosných hodnotách podle české legislativy. Pozornost je také věnována podrobnému popsání vlivu odpadních vod na životní prostředí, člověka nevyjímaje. Tato část je zaměřena na znečišťování právě těmi nejvíce obávanými průmyslovými odvětvími. Výsledek literární rešerše ukázal, že odpadní vody mají obrovský negativní vliv na životní prostředí i na lidské zdraví více než je předpokládáno. Zlepšení problematiky v oblasti odpadních vod by mohlo nastat v případě většího zájmu společnosti o kvalitnější a čistší přírodu.

**Klíčová slova:** odpadní voda, průmysl, čištění vod, historie

## **Abstract**

The main topic of this bachelor's thesis is the processing of available and relevant information regarding the problematics of wastewater. The thesis describes different types of wastewater and the principles of their processing in past times and nowadays. Furthermore, the thesis discusses the pollutants contained in various kinds of wastewaters and the bearable values of these pollutants according to Czech legislation. Described in detail are also the effects of wastewaters on the environment and human population. This section focuses on pollution by the most feared of industry branches. The results of literary research proved that waste waters affect the environment and people's health more negatively than anticipated. Improvement in this field could happen in case that society's interest in cleaner and healthier nature and environment increases.

**Keywords:** wastewater, industry, wastewater treatment, history

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle práce .....	10
3. Charakteristika odpadních vod.....	11
4. Druhy odpadních vod.....	11
4.1 Splaškové vody.....	11
4.2 Zemědělské odpadní vody .....	12
4.3 Srážkové odpadní vody .....	13
4.4 Průmyslové odpadní vody .....	13
5. Ukazatele znečištění odpadních vod .....	14
5.1 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) .....	14
5.2 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK <sub>5</sub> ).....	15
5.3 Celkový organický uhlík .....	16
5.4 Nerozpuštěné látky (NL) .....	17
5.5 Amoniakální dusík (N-NH <sub>4</sub> ) .....	18
6. Historie nakládání s odpadními vodami.....	19
6.1 Ve světě .....	19
6.1.1 Starověk .....	19
6.1.2 Středověk .....	20
6.1.3 Novověk.....	20
6.2 V České republice .....	22
6.2.1 Praha .....	22
6.2.2 Ostrava.....	23
7. Čištění odpadních vod v současnosti .....	23
7.1 Mechanické/fyzikální čištění.....	24
7.2 Chemické čištění .....	25
7.3 Biologické čištění .....	26



8. Objekty pro zpracovávání odpadních vod.....	27
8.1 Čistička odpadních vod (ČOV) .....	27
8.2 Domovní čistička odpadních vod .....	28
8.4 Žumpy .....	28
8.5 Septiky .....	29
8.6 Umělé mokřady .....	29
9. Vliv odpadních vod z různých odvětví na životní prostředí .....	30
9.1 Automobilový průmysl.....	30
9.2 Textilní průmysl .....	31
9.3 Papírenský průmysl .....	33
9.4 Farmaceutický průmysl .....	34
9.5 Petrochemický průmysl .....	35
9.6 Potravinářský průmysl.....	37
10. Diskuse .....	39
11. Závěr .....	41
Přehled literatury a použitých zdrojů .....	42

## 1. Úvod

Voda se nachází po celém světě, a to ve všech třech základních skupenstvích, tuhé skupenství ve formě ledu, plynné ve formě páry a kapalné ve formě, jakou známe nejčastěji. Voda je kapalina bez zápachu a barvy, a také postrádá jakoukoli chuť. Chemický vzorec vody je  $H_2O$ , skládá se tedy z dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku.

Voda je hlavní součástí naší planety a zabírá 71 % rozlohy celé Země, přesněji rozloha všech vodních zdrojů je více jak 360 milionů  $km^2$ . Celková zásoba vody na zeměkouli činí 1,4 miliardy  $km^3$ . Největší plochu pokrývají světové oceány a slaná voda v nich zabírá 255 milionu  $km^2$  (70,8 %), zatímco sladká voda zabírá pouze 106 milionů  $km^2$  (29,2 %). Při porovnání zásob vody na souši a v moři či oceánech je tento poměr více rozdílný. Objem mořských a oceánských vod činí 97 %, zatímco na pevnině jsou to pouze necelá 3 % všech světových zásob vody (Chmelová and Frajer, 2013).

V naší společnosti je voda velmi důležitou sloučeninou. Naše tělo se skládá z velkého množství vody a rozmezí je stanoveno od 60-90 %, přičemž množství vody v těle závisí především na věku a stavbě těla. Voda se dále využívá jako surovina, pro zemědělské či průmyslové činnosti a zároveň je velmi potřebná v domácnostech pro vaření i osobní hygienu. Voda se využívá i jinak než jako spotřební surovina. Spousta lidí vodu využívá pro své rekreační aktivity, jako například rybaření nebo sport. (Chang, 2013; Chmelová and Frajer, 2013).

## 2. Cíle práce

Cílem této práce je zpracovat rešerši zabývající problematikou odpadních vod a jejich čištěním. Konkrétněji je cílem popsat nakládání s odpadními vodami v různých odvětvích, popsání znečišťujících látek vyskytujících se v odpadních vodách a v neposlední řadě zpracovat text, pojednávající negativních vlivech odpadních vod na životní prostředí a člověka. Kromě moderních postupů je cílem přiblížit historické využívání odpadních vod a nakládání s nimi jak v různých časových obdobích, tak v různých koutech tehdejšího světa. Posledním bodem práce je kritická diskuse a závěrečné zhodnocení.

### **3. Charakteristika odpadních vod**

Dle §38 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), se odpadní vody definují jako vody použité v obytných, průmyslových, zdravotnických a jiných stavbách nebo dopravních prostředcích, které mají po použití změněnou jakost a jejich směs se srážkovou vodou může ohrozit jakost podzemních a povrchových vod.

Z hlediska domácnosti se odpadní voda definuje jako voda, která byla použita a nadále již nemůže být využita pro jiný užitečný účel. Jedná se například o vodu z dřezů, sprch, praček nebo také z toalet, která obsahuje mikroorganismy, organické materiály, tuky, oleje a rozpouštědla. Odpadní vody z průmyslu jsou téměř identické s odpadními vodami z domácností, jen jsou obohaceny o chemické složky, jako jsou například sloučeniny uhlíku, dusíku, fosforu, pesticidy, těžké kovy a také se v nich mohou nacházet radioaktivní látky. (Henze and Comeau, 2008; Malik et al., 2015).

Produkováno množství odpadních vod je spojeno s mnoha aspekty, mezi které může spadat životní úroveň, životní styl obyvatel nebo samotná výchova dětí. Produkce odpadních vod není u všech stejná. Každý jednotlivec vyprodukuje rozdílné množství odpadních vod a stejně tomu je i u různých odvětví průmyslů. I přes zlepšení všech aspektů, které jsou spojeny s produkcí odpadních vod, není příliš pravděpodobné, že by se dalo množství odpadních vod výrazně snížit (Henze and Comeau, 2008).

### **4. Druhy odpadních vod**

#### **4.1 Splaškové vody**

Splaškové vody pocházejí z domácností, administrativních budov a ostatní občanské vybavenosti. Jedná se o vody, které vznikají činností člověka během dne, jako je základní hygiena, umývání nádobí či používání toalety, a jsou z budov odváděny veřejným kanalizačním systémem (RAVOS, s.r.o. ©2022).

Splaškové vody se dále dělí na černou a šedou vodu. Černá voda pochází z toalet a je nejvíce znečištěnou odpadní vodou pocházející z domácností a může se dále dělit na žlutou a hnědou vodu. Hlavní rozdíl mezi hnědou a žlutou vodou je v jejich obsahu. Žlutá odpadní voda obsahuje pouze samotnou moč, zatímco hnědá voda obsahuje jen

výkaly bez moči. Tyto vody při smísení tvoří již zmíněnou černou vodu. Taková voda není vhodná k čištění. Používá se spíše k separaci chemických látek v ní obsažených, jako je metan, dusík a fosfor, ze kterých se vyrábějí například organická hnojiva (van Voorthuizen et al., 2008; Beler-Baykal, 2015). Šedá voda pochází z van, dřezů, umyvadel či praček a obsahuje velké množství chemikálií a zbytků potravin, přičemž tvoří 50-80 % všech splaškových odpadních vod. Úprava šedé vody může být chemická, fyzikální nebo biologická (Li et al., 2009).

## **4.2 Zemědělské odpadní vody**

Zemědělské odpadní vody vznikají při hospodářské činnosti, jako je pěstování plodin či krmení a mytí zvířat. Příklady vzniku mohou být odtoky vod z výkrmů, jatek, kompostáren, orné půdy či mytí vajec, koní a dobytka. Odpadní vody z hospodářské činnosti znečišťují povrchové i podpovrchové vody pesticidy, hnojivy a sedimentem (CONNECTICUT'S OFFICIAL STATE WEBSITE ©2022). Čištění může probíhat jak v čistírnách odpadních vod, tak pomocí přírodních zdrojů přímo na místě znečišťovatele přes rašelinové nebo pískové filtry či přes upravené mokřady s funkcí úpravy odpadních vod (Joy et al., 2001).

Jedním z nejdůležitějších prvků, který se nachází v zemědělských odpadních vodách je fosfor. Ten se v zemědělství hojně vyskytuje v organických a minerálních hnojivech, který je při správném využití adsorbován rostlinami a půdou. Pokud například zemědělec použije více hnojiva, než je potřeba a půda nedokáže fosfor adsorbovat, proniká do podzemních vod či je odtokem z pozemku unášen do povrchových vod. Fosfor není ovšem negativní látkou, tento prvek přispívá k růstu rostlin ve vodním ekosystému, ovšem díky odpadním vodám se množství fosforu zvyšuje na extrémní úroveň. Pokud míra fosforu ve vodách vzroste, dochází ke zvýšené eutrofizaci a tím vyšší a rychlejší množení řas a sinic a utlačování jiných větších vodních organismů. Koncentrace fosforu v odpadních vodách ze zemědělství je poměrně vysoká a dosahuje až 780 mg/l (Kroiss et al., 2011; Carrillo et al., 2020). Druhým prvkem hojně se vyskytujícím v zemědělských vodách je dusík, který ve své podstatě je totožný s fosforem jak z hlediska zdrojů, kterými se dusík do vody dostává, tak z hlediska jeho účinků na vodní ekosystém a životní prostředí (Rahimi et al., 2020).

### 4.3 Srážkové odpadní vody

Srážková odpadní voda je voda, vznikající při povodních či vydatných deštích, která se nevsakuje do půdy, ale volně odtéká po povrchu. Odtékající srážková voda patří mezi hlavní původce znečištění vod, a to díky smývání škodlivých látek z povrchu jako například oleje, chemikálie, těžké kovy, plasty nebo dokonce biologické činitele, jako jsou viry, bakterie nebo hniloba. Takto znečištěná srážková voda poté odtéká do vodních toků, kde negativně ovlivňuje život pod vodou, ale také život mimo vodní ekosystém kvůli přímé i nepřímé potřebě využití vody (Ahmed et al., 2021).

### 4.4 Průmyslové odpadní vody

Průmyslové odpadní vody se dají rozdělit podle různých průmyslových odvětví s odlišnými chemickými a fyzikálními vlastnostmi vypouštěných vod. Dále každé průmyslové odvětví vypouští společně s odpadními vodami jiné znečišťující látky, a proto je čistící proces velmi různorodý (Walling et al., 2022).

Průmyslové odpadní vody se mohou dále dělit na organické, minerální a smíšené (Thomas and Thomas, 2022).

**Organické průmyslové odpadní vody** jsou charakteristické vysokým obsahem organického znečištění, které může být snadno, ale i těžce odbouratelné biologickým procesem. Produkují je například potravinářské nebo petrochemické průmysly (Thomas and Thomas, 2022). Pokud se takto nepřečištěné vody vypustí do čisté vody, mají negativní dopady na vodní ekosystém, ať jde o živočichy či rostliny. Pro čištění organicky znečištěných vod se využívá fyzikálně-chemických procesů, ty jsou ovšem v mnoha případech velmi finančně nákladné, a proto se po celém světě vyvíjí nové biologické postupy, které budou mít minimálně srovnatelnou účinnost za mnohem nižší cenu (Lefebvre and Moletta, 2006). Organických látek znečišťujících odpadní vody je nespočet. Nejznámější a nejvíce zastoupené jsou oleje, tuky, bílkoviny, cukry, fenoly či uhlovodíky (Patwardhan, 2017).

**Minerální průmyslové odpadní vody** lze charakterizovat svojí toxicitou a vysokým podílem nerozpuštěných látek, zatímco obsah organického znečištění je v poměru právě k nerozpuštěným látkám nízký. Takovéto vody jsou produkovány v ocelářském

a těžebním průmyslu nebo při galvanickém pokovování a pro jejich čištění je vhodné zvolit kombinaci fyzikálně-chemického procesu (Thomas and Thomas, 2022). Velký podíl na znečištění vody minerálními látkami mají v mnoha případech těžké kovy jako například zinek či měď. Tyto kovy nejsou biologicky odbouratelné, a proto se pro jejich odstraňování využívají pouze výše zmíněné fyzikálně-chemické procesy. Těžké kovy ve vodě jsou v porovnání se stejným množstvím v půdě více nebezpečné pro lidský organismus. Voda tyto kovy odnáší dál a dostávají se do pitných i užitkových vod, zatímco v půdě se posouvají pouze minimálně. Znečištění pitných vod se projevuje hlavně na lidském zdraví, kdy se těžké kovy dostávají do organismu při konzumaci potravin (Meng et al., 2022). Možnými nekovovými polutanty mohou být látky jako sirovodík, minerální kyseliny, fosforečnany, dusičnany, kyanidy nebo sodík, draslík a vápník (Patwardhan, 2017).

**Smíšené průmyslové odpadní vody** se vyznačují vysokou salinitou a obsahují směs jak organických, tak nerozpuštěných látek. Tyto vody jsou produkovány především chemickými, celulózovými a papírenskými průmysly. Jejich čištění je možné pomocí fyzikálně-chemických ale i jim přizpůsobeným biologickým procesům. (Thomas and Thomas, 2022).

## **5. Ukazatele znečištění odpadních vod**

Ukazatelů znečištění odpadních vod je několik. V nařízení vlády č. 57/2016 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních je uvedeno, že mezi ukazatele patří chemická spotřeba kyslíku, biochemická spotřeba kyslíku dále amoniakální dusík, celkový dusík a počet nerozpuštěných látek. Tyto ukazatele se hodnotí podle jejich přípustného obsahu ve vodě v miligramech na litr vody.

### **5.1 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)**

Chemická spotřeba kyslíku je přímá metoda pro stanovení spotřeby kyslíku ve vodě. Spotřeba kyslíku není přímý znečišťovatel vody, přesto je velkou hrozbou pro vodní ekosystém. Hrozba spočívá v ohrožení života vodních živočichů, kteří potřebují kyslík

k životu. Míra spotřeby kyslíku negativně ovlivňuje množství rozpuštěného kyslíku ve vodě, čímž vodní organismy nemají potřebného kyslíku pro život dostatek (Boyles, 1997).

Při této metodě jsou používány oxidační činidla, díky kterým se organický uhlík ve vodě rozloží na oxid uhličitý a vodu. Dle definice se CHSK stanovuje jako množství spotřebovaného oxidačního činidla k rozkladu již zmíněného organického uhlíku. Jako oxidační činidla se dnes nejvíce používají dichroman draselný ( $K_2Cr_2O_7$ ) a manganistan draselný ( $KMnO_4$ ) (Boyles, 1997).

Chemická spotřeba kyslíku stanovená pomocí dichromanu ( $CHSK_{Cr}$ ) je nejstarší metodou používanou již více než 70 let. Dichroman draselný je silnějším oxidačním činidlem oproti manganistanu a má lepší výsledky při použití na více vzorcích najednou, proto je v praxi více využíván. Výsledek je počet organické hmoty rozpuštěné díky oxidaci dichromanu v 50% roztoku kyseliny sírové. Chemická spotřeba kyslíku za pomoci manganistanu draselného ( $CHSK_{Mn}$ ) probíhá za zcela totožných podmínek jako metoda předchozí, rozdílem však je, že se manganistan využívá zejména pro odstranění železitého zápachu z pitných vod a její následné dezinfekci. (Boyles, 1997; Bartleson, 2017).

Dle nařízení vlády č. 57/2016 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních je stanoveno maximální znečištění pomocí  $CHSK_{Cr}$  pro stavby určené k bydlení nebo rodinné rekreaci na 150 mg/l, pokud je splněna podmínka maximálně 50 ekvivalentních obyvatelů (dále jen EO). Pokud je hodnota EO více než 50, hodnota  $CHSK_{Cr}$  může dosahovat maximálně 130 mg/l. Zvlášť je stanovena přípustná hodnota  $CHSK_{Cr}$  pro ubytovací služby, kde je maximum 130 mg/l pro všechna zařízení.

## **5.2 Biochemická spotřeba kyslíku ( $BSK_5$ )**

Biochemická spotřeba kyslíku je, stejně jako předchozí metoda, používána ke stanovení míry rozpuštěného kyslíku ve vodě. Při metodě BSK jsou pro stanovení rozpuštěného kyslíku zapotřebí mikroorganismy, které při oxidaci spotřebovávají již zmíněný rozpuštěný kyslík. Typickými zdroji pro metodu BSK je biologicky odbouratelný uhlík či čpavek. Tyto sloučeniny se do vody dostávají hlavně z lidských

činností v průmyslu či domácnostech. Voda s mikroorganismy se nechá stát po dobu pěti dní. Po těchto dnech se od počáteční hodnoty rozpuštěného kyslíku odečte výsledná hodnota na konci testu a výsledek vyjde v miligramech na litr vody (Penn et al., 2009). Obecně rozpustnost kyslíku ve vodě kolísá v závislosti na teplotě vody a hydrostatickému tlaku. Čím vyšší teplota tím méně voda kyslíku rozpouští. Například při bodu mrazu se rozpouští více než 14 mg/l kyslíku, zatímco při pokojové teplotě hodnota klesne na 8 mg/l (Hach et al., 1997).

Pro stanovení hodnoty BSK se využívají 2 metody, a to metoda ředění, která vzešla z Americké asociace veřejného zdravotnictví a manometrická metoda. První zmíněná metoda je založena na ředění znečištěného vzorku, vodou se známou hodnotou obsahu rozpuštěného kyslíku. Po smíchání se vzorek nechá ležet ladem v teplotě 20 °C po dobu pěti dní. Druhá metoda je založena na nenařazeném vzorku vody a tím se více podobá reálně znečištěné vodě. Neměří se přímo pokles rozpuštěného kyslíku, nýbrž pokles tlaku vzduchu v lahvi pomocí manometru. Tato metoda je oproti metodě ředění jednodušší a má delší tradici, neboť se využívá po celém světě v mnoha čistírnách více než 75 let (Hach et al., 1997).

Dle nařízení vlády č. 57/2016 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních je hodnota BSK<sub>5</sub> pro méně jak 50 EO stanovena na 40 mg/l a pokud hodnota EO přesahuje 50 je množství maximálně 30 mg/l. Totožná hodnota je stanovena pro ubytovací služby.

### **5.3 Celkový organický uhlík**

Celkový organický uhlík je menším, ale ne zanedbatelným ukazatelem znečištění vod. Označuje počet atomů uhlíku v organických sloučeninách přítomných ve vodě a hodnota tohoto parametru se vyjadřuje v mg/l. Test na stanovení celkového organického uhlíku má mnoho využití, díky testu můžeme určit efektivnost a účinnost čistícího procesu v čistírně odpadních vod, dále se jím vyhodnocuje vhodnost vody k výrobě léků a potravin a je vhodným nástrojem pro přibližný odhad biochemické spotřeby kyslíku. Celkový organický uhlík má velmi úzkou provázanost se spotřebou kyslíku. Čím více spotřeba kyslíku roste, tím více roste i index celkového organického



uhlíku, který poté napomáhá k přemnožení mikroorganismů ve vodě (Florescu et al., 2013; Maine Environmental Laboratory LLC ©2023).

V České legislativě se celkový organický uhlík řeší pouze v jediném případě, a to ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Dle této vyhlášky je limit celkového organického uhlíku řešen pouze v pitné vodě a je stanoven maximálně na 5 mg/l.

## **5.4 Nerozpuštěné látky (NL)**

Nerozpuštěné látky jsou dalším důležitým měřítkem pro stanovení kvality vody. Jsou největšími znečišťovateli vod po celém světě. Jsou tvořeny anorganickými ale i organickými látkami, jako jsou například písky, bahno, minerály ale také částice složené z proteinů a sacharidů (Du et al., 2022). Tyto látky bývají z pravidla větší než 0,001 mm, dají se ovšem dále rozdělit na superkoloidní částice, které mají rozmezí od 0,001 mm do 0,1 mm a usazovatelné částice, které překračují velikost 0,1 mm (Azema et al., 2002).

Nerozpuštěné látky v odpadní vodě nejvíce ohrožují život ve vodě. Pevné látky zakalují vodu, čímž brání světlu pronikat hlouběji do vod. Díky tomuto jevu se zpomaluje a v některých případech i zastavuje fotosyntéza rostlin a tím se do vody uvolňuje méně kyslíku (Murphy, 2007). Pevné látky však neovlivňují pouze rostliny ale i bezobratlé živočichy, kteří se dále mohou rozdělit na zooplankton a bentické bezobratlé. Mezi veškeré bezobratlé druhy obývající vodní ekosystém můžeme zařadit měkkýše, hmyz, korýše či obrněnky. Hlavní problém, který ohrožuje populace bezobratlých je úhyn perifytonu, kterým se tyto organismy živí. Úbytek perifytonu je způsobený již zmíněným zpomalováním fotosyntézy. Nerozpuštěné látky dále mohou ovlivňovat i větší živočichy, jako jsou ryby. Studie prokázaly větší náchylnost k nemocím a dysfunkcím ryb způsobené zvyšováním jejich stresu. Dále je prokázáno, že při lovu potravy musí ryby vydat více energie kvůli zhoršené viditelnosti. Zanesení vody pevnými látkami způsobuje i rozsáhlou úmrtnost vajíček i velkých ryb z důvodu zanášení žaber (Bilotta and Brazier, 2008).

Pro zjišťování míry znečištění se používá více specifických metod, které mohou být mechanické nebo optické. Pokud se stanovují nerozpuštěné látky mechanicky, je využíván filtr, přes který se voda přefiltruje a po testu se filtr s usazeninami vysuší, zváží a rozdíl hmotnosti filtru před a po testu představuje výslednou hodnotu. Při optických metodách se používá laserová granulometrie (Azema et al., 2002; Murphy, 2007).

V České republice je maximální míra znečištění nerozpustnými látkami stanovena, dle Nařízení vlády č. 57/2016 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních, na 30 mg/l pro všechny objekty bez ohledu na hodnotu EO.

### **5.5 Amoniakální dusík (N-NH<sub>4</sub>)**

Tato znečišťující anorganická látka vzniká při biologickém odbourávání organických sloučenin dusíku. Nejvíce se do vodních toků dostává ze zemědělských odvětví, průmyslu, domácností či čistíren odpadních vod ve formě kalu. Pokud se ve vodě nachází této sloučeniny mnoho, může způsobovat zvýšenou eutrofizaci vody, díky nekontrolovatelnému rozrůstání řas a sinic, a to má za následek snížené či nedostatečné množství kyslíku pro život ve vodě (Huang et al., 2018; GRAF ©2023).

N-NH<sub>4</sub> se dá z vod odstraňovat několika metodami, příkladem může být iontová výměna, adsorpce, chemickým srážením či reverzní osmózou. Z vyjmenovaných metod se nejčastěji používá iontová výměna a adsorpce, kvůli jejich vysoké afinitě, jednoduché aplikaci, vysoké účinnosti a nízké ceně. Neméně důležitou vlastností těchto metod je jejich šetrnost k životnímu prostředí. Alternativní a přírodní metodou je použití hojně se vyskytujícího se zeolitu. Ten má relativně vysokou selektivní vlastnost pro amoniakální dusík a dobře tuto sloučeninu adsorbuje. Dalšími možnými adsorbenty jsou odpady z živočišné a rostlinné produkce či průmyslový odpad jako je popílek z procesu spalování uhlí. Jejich použití je ekologické a ekonomické, ovšem nevýhodou je jejich menší účinnost (Huang et al., 2018).

Dle České legislativy je v nařízení vlády č. 57/2016 stanovena maximální koncentrace amoniakálního dusíku 20 mg/l při méně jak 10 EO. Pro více ekvivalentních obyvatel není maximální hodnota stanovena.

## 6. Historie nakládání s odpadními vodami

### 6.1 Ve světě

#### 6.1.1 Starověk

První zmínky o snaze čištění odpadních vod pochází z éry mezopotámské říše, kdy bylo zjištěno, že se v pár domech nacházel drenážní systém vedoucí do žump. Bohužel nebyly tyto systémy zařízeny všude a ve většině případech se odpadní vody z domácností vylévaly ven na ulici. Podobný přístup byl praktikován obyvateli starověkého Egypta s rozdílem, že majetní obyvatelé měli zřízené drenážní kanálky odvádějící vodu přímo do pouště. Nemajetní tyto odpadní vody vylévali do blízkých řek či přímo na ulici (Lofrano and Brown, 2010).

První sofistikované kanalizační systémy a pokusy o čištění odpadních vod se objevují v oblastech povodí řeky Indus, kdy ze sídel vedla terakotová potrubí do jímek. V těchto jímkách se následně usazoval pevný odpad a samotná voda bez velkých nečistot odtékala do kanalizace. Ačkoli se o prvním čištění vod zmiňuje na Asijském kontinentu, první základní kameny moderního nakládání s vodami položili ve starověkém Řecku, jejichž toalety se již alespoň vzdáleně přibližovaly těm moderním. Odvod odpadních vod probíhal přes uzavřené kanalizační sítě a jejich vyústění bývalo většinou u polí, kde se touto vodou hnojily a zalévaly plodiny. V římské říši pozvedli kanalizační sítě ještě na vyšší a sofistikovanější úroveň, která spočívala v odvádění splašků menšími kanalizacemi do jedné velké kanalizační stoky. Dokonce se zde objevují známky prvních recyklačních procesů, kdy vodu z koupele používali Římané ke splachování toalet, a až poté putovala do stok (Lofrano and Brown, 2010).

Dalším starověkým národem, který se snažil o nakládání a znovupoužití odpadních vod byli Korejci. Ti separovali tři druhy odpadních vod, a to z domácího použití jako je praní, moč a fekálie. Moč a vody využitě k praní byly přečištěny přes mokřady a poté použity pro zavlažování, zatím co fekálie byly využívány pro hnojení polí (Angelakis and Rose, 2014).

### **6.1.2 Středověk**

Po pádu římské říše, která byla ve své době průkopníkem v ohledu hygieny a nakládání s odpadními vodami, se svět začal uchýlovat zpět ke špatným hygienickým podmínkám pro život. Začalo se zapomínat na římské odvodňovací systémy, sofistikované kanalizace a systém úpravy odpadních vod. Zanikání kanalizačních a odvodňovacích sítí bylo důsledkem úbytku obyvatel ve velkých městech, kteří se stěhovali na venkov, čímž se snižoval počet pracovníků starajících se o kanalizační infrastrukturu. Většina národů po celém světě se uchýlila zpět k vylévání splašků z oken na ulici (Burian and Edwards, 2002; Lofrano and Brown, 2010).

Zlom v nakládání s odpadními vodami přišel ve 12. století v Anglii, kdy se odpadní voda z domů začala svádět do vybudovaných žump, které byly povolány pracovníky vybírány a obsah prodáván farmářům na hnojení. Anglie v roce 1427 přijala zákon o kanalizacích, který se zabýval správou a kontrolou kanalizací a kanálů. Tento zákon byl jeden z prvních veřejně zavedených zákonů v té době. Obdobným způsobem se nakládalo s odpadní vodou v Itálii, ale až o dvě století později s rozdílem, že odpadní voda se neprodávala jen zemědělcům na hnojení plodin (Burian and Edwards, 2002; Lofrano and Brown, 2010).

V 16. století se kvůli zanedbané hygieně a nevhodnému nakládání se splašky začal Evropou šířit mor a další nemoci, proto bylo v Paříži nařízeno vybudovat u každého nového domu funkční žumpu pro uchování odpadních vod a jejich separaci od pitné vody. Co se týče průmyslových vod, ty pocházely ze sídel řemesel jako jsou hrnčíři, skláři nebo kováři. Tyto vody se většinou vypouštěly rovnou do řek, potoků či rybníků (Burian and Edwards, 2002; Lofrano and Brown, 2010).

### **6.1.3 Novověk**

Mezi první státy, které se začaly znovu a hlouběji zajímat o odvádění odpadních vod a s tím související zlepšení životního prostředí byla Velká Británie. Vystavěny byly sběrné kanalizace, do kterých se instalovaly čerpací stanice, které napomáhaly chodu kanalizační infrastruktury. Tyto kanalizace ústily do řeky Temže, která napomohla

ke zlepšení londýnské krize, která byla nazývána velký zápach. Tato krize vznikla kvůli ucpání velkého množství kanalizací (Lofrano and Brown, 2010).

Paříž během středověku bojovala s problémy spojenými s údržbou kanalizací, díky čemuž se v roce 1636 objevilo více jak 20 neprůchodných kanalizací, které byly ve špatném stavu. Vyhláška, která byla vydána v roce 1721 stanovovala, že osoby vlastníci nemovitost budou muset uhradit čištění kanalizací pod nemovitostí. Tato vyhláška však v lidech vyvolala dojem, že když si čištění uhradí, mohou do kanalizace vhazovat veškerý odpad. Na tento problém byly vydány další zákony, a to v roce 1736 a 1755, které měly omezit vhazování veškerého odpadu do kanalizace (Burian and Edwards, 2002).

Spojené státy budovaly rozsáhlé odvodňovací systémy, které byly důležité pro využívání koňských povozů. Na začátku 18. století se v New Yorku, Bostonu a Filadelfii stavěly silnice pečlivě i s povrchovým a podpovrchovým odvodněním. Zatímco v Nové Anglii roku 1704 byla schválena výstavba kanalizace, kterou mohli využívat i běžní lidé. Ten, kdo se chtěl na tuto novou kanalizaci napojit, musel uhradit určitou částku. Podobné výstavby, které nastaly o pár let později se staly velmi populárními i v dalších městech (Burian and Edwards, 2002).

Ve 20. století nastala revoluce v nakládání s odpadními vodami, do které se vložili jak politické strany, tak vědci a po celém světě se začaly šířit standardy a koncept biochemické spotřeby kyslíku (BSK). Bohužel všechny snahy o zlepšení kanalizací a životního prostředí přerušila 1. a 2. světová válka, během které bylo poničeno nespočet kanalizační infrastruktury. Zvrat nastal v roce 1950, kdy se lidé opět začali zajímat o životní prostředí a po celém světě začaly vznikat zákony a normy. V průběhu druhé poloviny 20. století se začaly zdokonalovat separační metody, díky nimž se snadněji odhaloval původ znečištění a obsah chemických látek ve vodách (Lofrano and Brown, 2010).

## 6.2 V České republice

### 6.2.1 Praha

Zájem o zpracovávání odpadních vod v České republice vzrostl až ve 14. století, kdy Karel IV. při zakládání Nového města zadal povinnost vybudovat odvodňovací žlaby středem ulic, které měly za úkol odvádět splašky do vybudovaných příkopů. Tento systém žlabů se nazýval kvintety, jež byly nejdříve budovány ve Francii. Koncept kanalizace se začal detailněji řešit až v 19. století, konkrétně v letech 1818-1820 kdy hrabě Rudolf Chotka nechal vystavět 44 km stok, které ústily do řeky Vltavy. Kvůli absenci jakéhokoli čištění se v druhé polovině 19. století nahromadilo nespočet stížností na silné znečištění řeky Vltavy, jež byla jediným zdrojem pitné vody pro Prahu do roku 1914 (Angelakis and Rose, 2014).

Roku 1896 byl znovu navržen projekt na výstavbu kanalizace i s čistírnou odpadních vod, která se měla nacházet v Bubenči. V blízkosti již zmíněné budoucí čistírny se nechala vystavět jímací stoka, do které byly vedeny tři záchytné stoky z celého města. Tyto záchytné stoky odváděly odpadní vody z nejvytěžovanějších míst Prahy jako například Hradčany, Smíchov, Letná a Dejvice. Celý tento projekt byl zpracován a po celou dobu řízen britským inženýrem Williamem Heerleinem Lindleyem (Angelakis and Rose, 2014).

Čistírna odpadních vod byla umístěna tak, aby vyhovovala vzdáleností i nadmořskou výškou. Výškový rozdíl byl navržen tak, aby voda vypouštěná z čistírny měla prostor i v případě vysoké hladiny řeky. V roce 1901 byly k projektu vyjádřeny připomínky ohledně kalových a vyhnívacích nádrží, jež byly umístěny nedaleko parku Stromovka. Připomínky byly vzneseny k zápachu, který mohl obtěžovat návštěvníky parku, avšak Lindley tento problém vyřešil umístěním všech zápch vydávajících technologií pod zem. Roku 1927 byla tedy zahájena výstavba technologií řešící zápch. K již funkční čistírně odpadních vod přibylo nové síto, lapač písku a další čtyři usazovací nádrže, avšak se jednalo pouze o dočasné úpravy. Po 2. světové válce nebyly k nalezení žádné dochované záznamy o čistírně odpadních vod, tudíž se předpokládalo, že nedošlo k žádným velkým změnám kromě snížení počtu zaměstnaných osob. Čistírna stejně jako před válkou, tak i po válce měla být nahrazena novou technologií, na kterou nebylo dostatek financí. Lindleyho čistírna se tak stala nejstarší fungující čistírnou odpadních vod v Evropě. Až po roce 1947 byl navržen další projekt na vylepšení sít a lapačů

písku, které byly přidány 20 let zpět. Tyto úpravy měly usnadnit práci a zlepšit hygienu, která nebyla vyhovující (Angelakis and Rose, 2014).

## **6.2.2 Ostrava**

V Ostravě se odvodňování odpadních vod začalo řešit až kolem roku 1855, a to jen kvůli směrnicím, ve kterých bylo nařízeno vybudovat žumpu u každého nového bytového či rodinného domu. Ostrava by začala řešit splaškové vody až o několik let déle v případě, že by směrnice nebyly vydány. Problém s odpadními vodami vyřešili zadáním povinnosti u každého domu vybudovat žumpu. První kanalizační síť se nechala vystavět až koncem 19. století, avšak neodpovídala vytíženosti města a okolí. Od této chvíle do poloviny 20. století se nakládání s vodami neposunulo. Zlom nastal až tehdy, kdy byla naplánována výstavba nového sídliště. Protékající potok Porubka by již nezvládal nápor vypouštěných splašků a musel se tedy vymyslet jiný plán pro zpracovávání odpadních vod. V roce 1960 byla nakonec postavena čistírna odpadních vod pro toto sídliště. Později byly všechny odpadní vody tehdejší Ostravy sváděny právě do nově vybudované čistírny. Kvůli rozrůstající se populaci a také industrializaci města, musela být na konci 80. let 19. století vystavěna centrální čistírna odpadních vod pro necelých 640 000 obyvatel (Dvorský et al. 2016).

## **7. Čištění odpadních vod v současnosti**

Čištění odpadních vod je velmi složitý proces, a to hlavně kvůli různorodosti látek v nich obsažených. Splaškové vody se v závislosti na umístění bytu, či domu nikterak neliší. Rozdílem jsou však průmyslové vody. Každé průmyslové odvětví vypouští jinak kontaminované odpadní vody, proto se pro každý průmysl musí navrhnout jiný čistící postup. Rozdílný postup mají například vody obsahující těžké kovy a vody obsahující chemické sloučeniny, jako fenoly nebo jejich sloučeniny. Na odstranění nebo snížení množství těžkých kovů se používají metody, jako například iontová výměna či elektrochemická depozice, ale takové metody jsou velice energeticky náročné. Pro již zmíněné fenoly a jejich sloučeniny se používají metody založené na

fyzikálních, chemických, anaerobních či elektrochemických procesech (Ahmed et al., 2021).

Proces čištění odpadních vod se skládá z několika po sobě jdoucích kroků. Prvním krokem je mechanické předčištění vody od hrubých nečistot. Jako druhý krok následuje takzvané primární čištění, při kterém se využívají metody chemické a mechanické. Po primárním čištění následuje čištění sekundární nejčastěji za pomoci biologických metod. Čtvrtým krokem v postupu je terciární čištění, kterým se voda dočišťuje a chemicky upravuje například chlórem. Terciální dočištění bývá spíše doplňkovým krokem pro čištění sekundární. Posledním a velmi důležitým krokem je zpracování kalu, který vznikl při celém čistícím procesu. Kal se může zpracovávat různými způsoby, avšak nejčastějšími metodami pro zpracování čistírenského kalu je spalování (Mareddy et al., 2017; Crini and Lichtfouse, 2019). Kal z čističek se ovšem dá i recyklovat, například formou stlačování a vytváření briket pro podpal nebo shromáždění kalu do vyhnívacích nádrží v bioplynkách a vytvářet tak bioplyn pro výrobu elektrické energie (Jadhav et al., 2021).

## 7.1 Mechanické/fyzikální čištění

Tento druh čištění se řadí mezi první kroky při zpracovávání odpadních vod, a proto se označuje jako takzvané primární čištění. Jeho hlavním úkolem je separace velkých plovoucích ale i usazených nečistot. Kromě větších nečistot dokáže mechanické čištění odstranit z velké části také oleje a tuky, a jeho hlavním účelem je připravit vodu k následnému sekundárnímu čištění. (Varjani et al. 2020).

Metod využívaných pro fyzikální či mechanické čištění je mnoho. Nejpoužívanějšími jsou sedimentace, filtrace síty či nanofiltracemi, reverzní osmóza nebo elektrodialýza. Využití filtrační metody závisí na velikosti částic potřebných k oddělení z odpadní vody. Síta se mohou využívat na větší částice, zatímco pomocí nanofiltrace dokážeme zachytit nečistoty malé i 1 nanometr. Výhodou filtračních metod je jejich nízká nákladovost, ovšem velmi časté je zanášení filtračních membrán. Elektrodialýza spočívá v působení stejnosměrného elektrického pole, který umožňuje rozpuštěným solím přejít na anodu a katodu, čímž je snížen obsah aniontů a kationtů ve vodě. Elektrodialýza funguje pouze na odstraňování soli z vody, je ovšem velmi šetrná



k životnímu prostředí (Bahuguna et al., 2021). Reverzní osmóza je založena na výstavbě přístroje, který je schopen vyvinout na znečištěnou vodu obrovský tlak a přes filtrační membránu touto silou vodu profiltrovat. Dokáže vodu zbavit solí, organických látek i bakterií (Puretec Industrial Wastewater ©2023).

## 7.2 Chemické čištění

Chemické čištění spočívá hlavně ve využívání chemikálií k odstraňování nečistot z vody a řadí se mezi sekundární metody čištění odpadních vod. Tyto chemikálie mají taktéž za úkol urychlit proces sedimentace v čeřicích nádržích (Varjani et al. 2020). Po usazení vznikne velké množství kalu, který se musí dále zpracovávat. Pokud je však s kalem zacházeno neefektivně a neekologicky, může samotný kal mít negativní vliv na životní prostředí i mimo odpadní vody (Pal, 2017).

Tento způsob čištění odpadních vod je složen z několika kroků, kterými jsou chemické srážení, neutralizace a následná dezinfekce vody. Během srážení je možné odstraňovat anorganické sloučeniny mnoha způsoby. Je možné přidat kyselinu či zásadu nebo změnit teplotu a je zde i možnost anorganické sloučeniny srážet do pevné látky. Takto vysrážené sloučeniny jsou odstraněny z odpadní vody buďto sedimentací nebo flotací, avšak lze použít i jiné metody určené k odstranění pevných látek. Při srážení je využíváno chemikálií, které mohou mít negativní dopad na životní prostředí, a proto je doporučováno nahradit chemické srážení takzvanou fytořemediací, což znamená využívání rostlin právě k odstraňování znečišťujících látek v odpadních vodách (Samer, 2015).

Neutralizace je prováděna kvůli častým problémům s kyselostí nebo naopak přílišnou zásaditostí odpadní vody. Účelem je změnit hodnotu pH přibližně na 7, a to pomocí oxidu a hydroxidu vápenatého a sody. Pokud je nutné zvýšit kyselost vody je k tomu využívána kyselina sýrová nebo kyselina uhličitá. Co se týče následné dezinfekce vody, tak je využíván chlór a ozon. Chlór je bezpečný a velmi spolehlivý díky jeho schopnostem, které z něj dělají nejpoužívanější dezinfekční prostředek. O ozonu se dá říci, že dokáže oxidovat velmi velké množství jak anorganických, tak organických sloučenin (Samer, 2015).

### 7.3 Biologické čištění

Biologické čištění se řadí mezi sekundární čištění odpadních vod. Jeho úkolem je dočistit vodu od pevných látek a živin, a zároveň odstraňuje velké procento BSK, a to až o 90 %. Tento proces mají na starost hlavně mikroorganismy, jako jsou bakterie nebo houby, které se již zmíněnou organickou hmotou živí a rozkládají ji na oxid uhličitý. Podmínkou tohoto procesu je přítomnost kyslíku (Von Sperling, 2007; Qasim and Zhu, 2017). Příklad takovýchto procesů, při kterých je zásadní přítomnost kyslíku mohou být například oxidační jezírka či provzdušňovací laguny. Obě tyto metody vycházejí z principu aktivního využívání bakterií pro rozklad organických znečišťovatelů. Jediným rozdílem je přístup kyslíku pro zmíněné bakterie. V jezírkách je přístup zajištěn řasami, které kyslík produkují, zatímco u lagun je kyslík zajišťován provzdušňováním bublinkami vycházejících z potrubí na dně laguny (Grady Jr et al., 2011).

Na druhé straně se pro biologické přečištění odpadních vod využívají i anaerobní procesy, tedy proces bez přístupu kyslíku. Anaerobní čištění se využívá pro silně znečištěné vody, obecně s hodnotou BSK vyšší jak 500 mg/l. Tyto procesy jsou časově náročnější než předchozí aerobní proces, mají ovšem o mnoho nižší finanční náklady. Příkladem může být anaerobní digesce, při které dochází k vyhívání odpadu a produkci bioplynu (Samer, 2015; Kumar and Ankaram, 2019).

Samostatnou metodou nepatřící mezi aerobní ani anaerobní procesy je takzvaný bioreaktor. Bioreaktor se dá definovat jako válcovitá dutá nádoba z oceli, která je z vnitřní strany porostlá houbami a plísněmi, jenž mají za úkol rozkládat škodlivé biologické látky. Funkční jsou nejvíce na lignin či celulózu, z důvodu vylučování enzymů a kyselin z mycelia (Samer, 2015).

Nejvíce využívanou metodou je ovšem využití aktivovaného kalu. Ten se získá ve formě bakteriálních populací z odpadní vody. Směs bakterií se následně využije k vypěstování zmíněného aktivovaného kalu. Je to nejvíce ekonomická metoda, protože si aktivovaný kal dokáže čističky odpadních vod vypěstovat samy, a to ze získaného kalu z odpadní vody (Samer, 2015).

## 8. Objekty pro zpracování odpadních vod

### 8.1 Čistička odpadních vod (ČOV)

Čistička odpadních vod je objekt či zařízení pro čištění odpadních vod z průmyslů, zemědělství či domácností ve formě splašků. Odpadní voda je z těchto odvětví přiváděna do ČOV městskou kanalizační sítí. Slouží především k odstranění mastnoty, olejů, dále organické i anorganické materiály jako například písek nebo zbytky jídla. Čištění odpadních vod v čistírnách je poměrně náročný a zdoluhavý proces. Prvním krokem v celém procesu je oddělení velkých nerozpuštěných nečistot z vody. To se provádí za pomoci česlí, které mají mezi tyčemi větší rozestupy, pro zachycení pouze velkých nečistot, kterými mohou být lahve, textilie nebo větve stromů. Po tomto separačním procesu voda pokračuje k jemným sítům, které mají za úkol separovat nečistoty, které nezachytí česle, jako jsou například nedopalky cigaret nebo potraviny. Následným krokem je primární čištění, během kterého se z vody odstraní okolo 60 % všech nečistot. Po primárním čištění následuje čištění sekundární pomocí bakterií, které spotřebovávají polutanty a následně odumírají a vytváří tak kal. Přecházející voda následně putuje k poslednímu terciárnímu čištění, které má za úkol upravit vodu k opětovnému využití k zavlažování, k průmyslové výrobě či do domácností (Hydrotech ©2023; Smart Water Magazine ©2023).

Jak již bylo zmíněno výše, při biologickém sekundárním čištění vzniká kal jako vedlejší produkt čištění. S usazeným kalem je potřeba též šetrně nakládat a zpracovávat jej. Kal je svou strukturou podobný bahně a může obsahovat kovy, bakterie, různé patogeny a viry. S kalem se může nakládat více způsoby, ovšem první krok při jeho zpracování je vyhnívání a vysušování. To se provádí v takzvaných vyhnívacích nádržích, ve kterých se při tomto procesu uvolňuje bioplyn. Po vysušení kalu jsou 3 nejčastější metody pro jeho zpracování. První metodou je spalování, druhou metodou je využívání kalu k hnojení zemědělských půd. Poslední používanou metodou je jeho skládkování, při kterém se kal vysype do vyhloubených jam a poté je zeminou zasypán (Hydrotech ©2023; Smart Water Magazine ©2023).

## 8.2 Domovní čistička odpadních vod

Domovní čistička odpadních vod umožní až 97% přečištění odpadní vody a nejčastěji se využívá v případě, že není možnost připojit trvale využívaný objekt ke stávající veřejné kanalizaci. Aby domácí čistička správně fungovala, je odkázána na neustálý přísun odpadních vod. Z tohoto důvodu není doporučováno umisťovat domovní čističky odpadních vod k objektům, jako jsou chaty nebo chalupy, jež jsou využívány pouze sezónně. Velkou výhodou domovních čističek je možnost opakovaného využití již přečištěné odpadní vody například k zavlažování zahrady (Kraus, 2019).

Její funkce spočívá v odtoku odpadních vod do usazovací nádrže, ve které se pevné části usadí na dně a následně podléhají anaerobnímu procesu neboli rozkladu bez přístupu kyslíku. Odpadní voda, která je již zbavena pevných částí dále odtéká do prostoru, kde je přečištěna pomocí biologického procesu. Poté je přečištěná odpadní voda již odvedena do sběrné nádrže (Kraus, 2019).

## 8.4 Žumpy

Žumpa je betonová či plastová bezodtoká jímka sloužící k uchovávání odpadních vod z venkovských obydlí. Je zakopána od země a na vrchu jímky musí být zřízen vstup do nádrže. Jímka je objekt sloužící pouze pro uchování odpadní vody a nijak ji nečistí, dále z žumpy nevede žádné potrubí a je zde zavedeno pouze vstupní potrubí vedoucí z budovy. Proto se musí jímka často vyvážet za pomoci vakuové cisterny, která obsah žumpy nasaje a poté jej musí převézt na místo, kde se s takovýto odpad zpracovává. Nutnost vyvážet obsah jímek je velmi individuální. Obecně platí že by se měly vyvážet každé 4–6 týdnů (Rowe, 2021).

Problémem odpadu žump pro čištění je jejich vysoká kontaminace. Do čističky se v nejvíce případech dováží již z nějaké části přečištěná voda. Z jímek je ovšem odpadní voda v surovém stavu a v čističce se musí nakládat jak s pevným, tak i s kapalným odpadem. Pokud se jímka pravidelně nevyváží, začne se hromadit ve velkém množství plyn v jínce nebo se začne v nádrži vyskytovat hniloba, díky které se do okolí line silný a nepříjemný zápach (Bugajski et al., 2020).

## 8.5 Septiky

Septiky jsou jedny z nejrozšířenějších objektů pro nakládání s odpadními vodami po celém světě. Podle odhadů tuto technologii využívá 26 % domácností v celé Evropě a přibližně 25 % v USA. Septiky se nejvíce využívají pro venkovské stavby, jakými mohou být kupříkladu chaty. Mohou se však využívat i pro městské budovy, které nemají možnost být napojeni na veřejnou kanalizační síť. Jeden septik nemusí využívat pouze jedna budova, trendem je využívání jednoho septiku širší skupinou obydlí (Withers et al., 2014).

Septik je definován jako velkoobjemová nádrž, nejčastěji vyrobená z tvrdého plastu, která je zakopána pod zemí. Nádrž má nejčastěji 3 komory, ve kterých probíhá čištění odpadní vody za pomoci anaerobní digesce či nitrifikace. Přечиštěná odpadní voda je vypouštěna pomocí potrubí do povrchových vod, či se přirozeně vsakuje do vod podzemních. Po odtoku vody se v septiku usazuje kal a větší nečistoty, které jsou potřeba vyvážet. Není to v pravidelných intervalech, jako u žump, avšak septiky by se měli vyvážet a čistit minimálně jednou ročně. Samotný septik by nebyl ovšem tak efektivní, a proto se za nádrže instalují pískové či zemní filtry a v ojedinělých případech i filtry biologické (Withers et al., 2014; Ing. Kraus, 2021).

Účinnost septiků, za předpokladu dobrého umístění je poměrně vysoká, dokáží z vody dostat až 90 % nečistot. Problém nastává, pokud jsou septiky umístěné na špatném místě či nejsou dostatečně hluboko. V takovýchto případech septik nebude fungovat efektivně a z nádrže se budou uvolňovat kontaminanty, které znečišťují podzemní i povrchové vody. Toto může mít za následek nepříjemný zápach, kalné zbarvení vod či v horším případě onemocnění nejbližších obyvatel (Withers et al., 2014).

## 8.6 Umělé mokřady

Mezi umělé mokřady se řadí takzvané kořenové čistírny, které fungují na samočisticím principu, díky bakteriím, které mají schopnost rozkládat a degradovat organické znečištění. Dále přítomné mikroorganismy pomáhají při rozkladu dusíku, fosforu, tuků či cukru. Tyto organismy jsou vázané na mokřadní rostliny a pro jejich zakořenění jsou na dně mokřadu navrženy filtrační lože, které se skládají z hrubého kameniva.

Tyto lože zároveň zachycují sedimenty a odstraňují nečistoty. Pozitivním aspektem umělých mokřadů je jejich nenáročnost na provoz, šetrnost k životnímu prostředí a podpora biodiverzity v oblasti. Lákají zvěř vázanou právě na mokřadní ekosystém, jako jsou různé druhy žab, vážek, hadů, ještěrek, ale také ptáků a savců. I přes velké ekologické a provozní výhody se najde pár značných negativních aspektů, kterými jsou například velká náročnost na plochu či malá účinnost. V České republice dokáže jedna kořenová čistírna vyčistit odpadní vodu pro maximálně 50 obyvatel (Veronica, 2010).

## **9. Vliv odpadních vod z různých odvětví na životní prostředí**

Na světě existuje mnoho průmyslových odvětví a každé z nich vypouští jiné chemické látky do odpadních vod. Díky rozvíjejícímu se průmyslu po celém světě se z průmyslových odpadních vod stal největší znečišťovatel jak povrchových, tak podpovrchových vod. Chemické znečištění vod bylo zařazeno mezi 9 planetárních mezí, které by se neměly překračovat, za účelem omezení globálních změn (Dzikowitzky and Schwarzbauer 2013). Největšími světovými znečišťovateli jsou automobilové, textilní, farmaceutické či papírenské průmysly, avšak se znečištěnými odpadními vodami se můžeme setkat ve veškerých průmyslových odvětvích (Chigare et al. 2019). Některé znečišťující látky mohou mít negativní vliv na lidské zdraví, zemědělství nebo i život ve vodách a obsahují např. těžko kovy, jako jsou olovo, arsen nebo rtuť. Tyto látky působí toxicky na živočichy žijící ve vodě a mohou je i usmrtit. Vodní živočichy ovšem neohrožují pouze chemické látky, ale také malé kovové částice, které mohou vdechnout či pozřít (Ahmed et al., 2021).

### **9.1 Automobilový průmysl**

Automobilový průmysl je velmi rozmanitý, a ne všechny závody kontaminují odpadní vodu stejnými látkami (Chigare et al., 2019). Kromě závodů mají rozdílný vliv na odpadní vodu i veškeré procesy ve výrobě automobilů. Mezi tyto procesy patří výroba komponentů, nátěry, lakování, chlazení či mytí automobilů. Při takovém množství výrobních procesů, je využití vody velmi velké, jedná se přibližně o 150 000 litrů vody

na výrobu jednoho automobilu. V této spotřebě vody nemusí být zahrnuta výroba veškerých komponentů jako například pneumatiky (Isaiah, 2014). Největším znečišťujícím procesem při výrobě je lakování, které vypouští do odpadních vod velké množství rozpouštědel a barev. Při přečištění vod z lakoven vzniká takzvaný lakovací či fosfátový kal, jehož součástí jsou kovy, soli olovo či jiné rizikové látky obsažené v barvivech (Aly, 2015).

Odpadní vody z tohoto průmyslu obsahují širokou škálu znečišťujících látek, kterými ve většině případů mohou být motorové a technické oleje, mastnoty, chloridy, chladicí kapaliny či barvy a laky. Kromě rozpuštěných a kapalných látek se do vody dostávají i pevné látky, jako jsou plasty a některé těžké kovy jako například měď, olovo či zinek. Díky těmto polutantům má voda velmi pronikavý zápach a je velice zakalená. Zakalenost vody způsobuje dezorientaci ryb a horší prostupnost světla. Mastnoty a oleje obsažené v odpadní vodě mohou mít toxické účinky na vodní živočichy a způsobit jim otravu a následnou smrt (Mazumder and Mukherjee, 2011; Güven et al., 2017; Chigare et al., 2019).

Některé značky automobilů se aktivně podílí na snížení spotřeby a ochraně vody. Automobilová společnost Ford během deseti let od roku 2000 snížila spotřebu vody při výrobě automobilů o 62 % což činí zhruba 40 miliard litrů vody a následně v roce 2012 prohlásila, že během dalších tří let sníží spotřebu vody o 30 % u každého vyráběného automobilu. Tento plán však společnost stihla do roku 2013 a do budoucna si stanovuje další cíle pro snížení spotřeby vody (Isaiah, 2014).

Čištění odpadních vod z automobilových průmyslů probíhá pomocí fyzikálních, chemických a biologických metod. Fyzikální metoda spočívá v prosívání a následném usazování v usazovacích nádržích. Pro následné chemické přečištění se nejvíce využívá procesů koagulace, chlorace a ozonizace. Biologické čištění je v závislosti na druhu čištění aerobní či anaerobní. Velmi důležitou složkou přečištění je dezinfekce, ke které se využívá UV světlo, chlor či ozon (EGESIS ©2023).

## **9.2 Textilní průmysl**

Textilní průmysl produkuje velmi zakalené a různě zbarvené odpadní vody, kvůli chemickým barvivům, které se používají k obarvení textilu. Odpadní vody dosahují

vysokých hodnot BSK i CHSK a jejich pH se pohybuje mezi 7–9, díky tomu se řadí mezi neutrální až slabě zásadité. Dále se v odpadní vodě nachází velké množství rozpuštěných solí, těžké kovy či minerální oleje (Hussain et al. 1970; Hassan et al. 2009).

Největším znečišťujícím prvkem jsou již zmíněná barviva. Barviva zastoupená v odpadní vodě obsahují síru, naftol, kyseliny, mýdla a těžké kovy, jako například kobalt, rtuť či arsen. Nejnebezpečnějšími látkami jsou ovšem chemikálie používané pro úpravu textilu, těmi jsou například změkčovadla, fixační činidla na bázi formaldehydu či odstraňovače skvrn. Tyto chemikálie jsou velice toxické a silně reagují s dezinfekčními prostředky jako například chlórem, čímž vznikají vedlejší produkty, které jsou ve velké míře karcinogenní. Z tohoto důvodu je velmi obtížné jejich zpracovávání a čištění (Kant, 2012).

Z hlediska dopadu na životní prostředí jsou tyto odpadní vody velmi nebezpečné pro vodní ekosystém. Z důvodu obsahu karcinogenních a toxických látek mohou takto znečištěné vody intoxikovat ryby a jiné vodní organismy, které následně této otravě podléhají. Intoxikace živočichů není jediný negativní aspekt, ovlivňující faunu a flóru. V případě použití znečištěné vody barvivy či jinými používanými látkami v tomto odvětví pro zemědělské účely může docházet k zanesení pórů orné půdy a tím snížit její kvalitu a úrodnost. Znečištěné vody mají velmi negativní vliv i na lidské zdraví, a to právě v případě, že dojde ke špatnému a nedostatečnému přečištění. Látky v této vodě mohou vyvolat silné alergické reakce při styku s lidskou kůží či dokonce poškodit plod v těle matky (Kant, 2012).

Jak již bylo zmíněno odstraňování znečišťujících látek z textilních odpadních vod je velmi náročné a také zdlouhavé. Ve většině případech je potřeba použít více čistících postupů za sebou. I přes zdlouhavé a nákladné čištění není z vody odstraněno 100 % všech látek, nýbrž pouze 85 % (Kant, 2012).

Po celém světě se v textilních továrnách za jeden rok vyprodukuje více jak 200 miliard litrů odpadních vod a na výrobu textilu se využije téměř 80 miliard m<sup>3</sup> vody, přičemž spotřeba vody na jediné vyrobené triko je více jak 2500 litrů (Kant, 2012; Evropský parlament ©2021).



### 9.3 Papírenský průmysl

Papírenský průmysl patří mezi nejvíce znečišťující kvůli vysokému podílu nejen znečištěné vody, ale i pevného nebo plynného odpadu (Ahmed et al., 2021). Odpadní vody z papírenského průmyslu jsou velmi různorodé, hlavně díky různým procesům pro zpracování a výroby papíru. Látky ve vodách závisí například na druhu dřeviny, jenž může být měkké nebo tvrdé. Dále může záviset na faktu, zda se papírna specializuje na výrobu z recyklovaného papíru či nikoli. Výroba papíru je velmi složitý proces, ve kterém na sebe navazují rozdílné kroky a v každém z nich se využívají jiné látky. V prvním procesu nazývaném rozvláknění se nachází tzv. černý louh, který se vyznačuje vysokým obsahem ligninu. Druhou fází je bělení, při ní se do vod dostávají halogeny nebo fenoly. V neposlední řadě jsou velkým problémem ftaláty, které se používají pro změkčení papíru. Všechny tyto látky jsou velmi nebezpečné pro organismy ve vodě, neboť pozměňují DNA a vytváří mutace v dalších generacích (Balabanič et al. 2017; Toczyłowska-Mamińska 2017).

U vodních organismů může docházet k vyčerpání kyslíku nebo mohou nastat změny na pohlavních orgánech ryb. Chemikálie a látky ve vodě ale nemají vliv pouze na vodní ekosystém. Jejich toxicita se odráží i na půdách, které jsou zavlažovány takto znečištěnou vodou. Půda je méně úrodná a kvalita pěstovaných plodin je nižší, a díky vysoké koncentraci solí a těžkých kovů ve vodě je výrazně ovlivněna i klíčivost plodin. Pokud se jedná o výše zmíněný lignin, tak jeho produkty jako například vanilin nebo fenolické sloučeniny, působí při vysokých koncentracích negativně na bakterie, které mají na starosti kvašení. Přenos toxických látek na lidi nebo zvířata je pak závislý na potravním řetězci. Hospodářská zvířata jsou krmena plodinami, které byly zavlažovány znečištěnou vodou. Následně jsou tyto hospodářská zvířata a ryby, které byly vystaveny toxickým látkám konzumovány lidmi (Toczyłowska-Mamińska 2017; Singh et al., 2022).

Velmi vysokých hodnot dosahují ukazatele BSK, CHSK a nerozpuštěných látek. Ovšem každý krok ve výrobním procesu kontaminuje těmito ukazateli odpadní vodu v jiné míře. Při rozvláknění dosahují hodnoty BSK a CHSK maximálně 360 mg/l. Větších hodnot dosahují nerozpuštěné látky, které se vyskytují v odpadní vodě v míře více jak 1800 mg/l. Při bělení jsou hodnoty BSK a CHSK ještě nižší, a to pod 150 mg/l,

avšak míra rozpuštěných látek velmi vzrostla, a to až na 2200 mg/l. Další proměnnou je hodnota pH, která kolísá ve velkém rozsahu, a to od 2,5 do 10 (Ashrafi et al., 2015). Pro předčištění odpadních vod z papírenského průmyslu je nejvíce využívána filtrace, sedimentace či flotace, ovšem se hojně využívají metody jako adsorpce nebo ozonizace. Nejlepšími a nejrozšířenějšími adsorbenty pro tyto odpadní vody bývá aktivní uhlí, popel či oxid křemičitý. Pro proces biologického čištění se v některých továrnách používá léčba bakteriemi či houbami, které snižují míru ligninu vytvořenými enzymy (Kamali and Khodaparast, 2015).

## 9.4 Farmaceutický průmysl

Charakterizovat odpadní vody z farmaceutického průmyslu je velmi obtížné, neboť farmaceutické společnosti vyrábějí nejen léky, ale také kosmetické přípravky. Z tohoto důvodu obsahují odpadní vody oleje, biomasu, antibiotika nebo třeba fenoly. Ve farmaceutickém průmyslu se neřeší pouze léčiva obsahující bioaktivní látky, které jsou využívány k prevenci nebo samotné léčbě propuknuté nemoci. Jeho součástí jsou i výrobky z kategorie osobní péče, do které mohou patřit veškeré produkty zvyšující kvalitu života. Mezi takové produkty patří zubní pasty, sprchové gely, šampóny a mnoho dalších. V takových to závodech se bezprostředně po výrobě léčiva či kosmetiky výrobek balí do plastových obalů, a díky tomu se ve vodě nacházejí i mikroplasty. Některé látky vypouštěné do vody při výrobě léčiv a kosmetiky jsou velice karcinogenní a narušují geny vodních živočichů (Shah and Shah 2020; Samal et al., 2022).

Ať už se jedná o léčiva nebo výrobky osobní péče, tak obě tyto kategorie významně ovlivňují složení vod v případě, že je takto znečištěná voda odvedena do vodního toku (Samal et al., 2022). Před prvním procesem čištění těchto vod dosahují ukazatele znečištění velmi vysokých hodnot. Příkladem mohou být ukazatele CHSK či BSK. CHSK dosahuje nejvyšších hodnot 10 000 mg/l a BSK 2 500 mg/l. Dalšími hojně se vyskytujícími látkami jsou nerozpuštěné látky, které dosahují hodnoty až 500 mg/l. Díky využívání nespočtu rozdílných látek v tomto průmyslu se pH odpadní vody pohybuje v poměrně velkém rozmezí, a to od 1 do 8, proto se dají klasifikovat jako silně kyselé až mírně zásadité (Guo et al., 2017).

Látky obsažené v nepřečištěné odpadní vodě mohou mít velmi negativní účinky na vodní ekosystém a způsobovat až chronické problémy. Jako příklad může být uveden hojný výskyt estrogenu ve vodě, který u ryb konkrétně samců může ovlivnit vývoj samičích pohlavních znaků. Odpadní voda z farmaceutického průmyslu nemá ovšem vliv pouze na život ve vodě. Znečištění tímto průmyslem je možné nalézt i v pitné vodě, která může být velmi nebezpečná obzvláště pro lidi trpící problémy s játry a ledvinami. U mužů může estrogen v pitné vodě způsobit mnoho problémů spojených s plodností nebo dokonce zvýšit výskyt rakoviny varlat nebo prsu. U těhotných žen mohou vážné problémy vyvolat látky používané v boji proti rakovině. Jejich působení může mít za následek vznik vrozených vad nebo celkové poškození plodu. Problém s nebezpečnými látkami z farmaceutického průmyslu ve vodě však neohrožuje pouze muže nebo těhotné ženy, jejich negativní vliv ovlivňuje všechny ať už se jedná o lidi nebo zvířata (Samal et al., 2022).

Pokud jde o čištění, to probíhá zpravidla pouze chemicky a mechanicky. Protože výše zmíněné látky jsou velmi složitě biologicky odbouratelné. Pro odstranění pevných látek z vody se nejvíce využívá metod jako je srážení, sedimentace či flotace. Chemickými metodami, které se hojně využívají pro zpracování farmaceutických odpadních vod, mohou být například adsorpce látek pomocí aktivního uhlí či pokročilými oxidačními procesy. Pokročilé oxidační procesy se využívají z důvodu neodbouratelnosti látek běžnými činidly. Proto se musely najít a vyvinout jiné postupy, které jsou proti těmto látkám účinné. Využívá se například ozonizace, elektrochemická oxidace či Fentonovo činidlo. Další používanou technologií je membránová separace, kterou se docílí čištění a izolace přesně vybrané látky (Guo et al., 2017).

## **9.5 Petrochemický průmysl**

Odpadní vody z ropných rafinérií jsou velice mastné. Obsahuje ropné nečistoty, dále mastný kal, těkavé sloučeniny, rozpuštěné soli či amoniak. V takovéto odpadní vodě je velmi vysoká hodnota BSK a CHSK přesahující 1200 mg/l. Celkový organický uhlík má v ropné odpadní vodě zastoupení více než 1500 mg/l. Oleje a těkavé látky jsou polutantů, které vodu využitou v tomto průmyslu také velice znehodnotí. Oleje mají v odpadní vodě zastoupení více jak 550 mg/l a těkavé látky okolo 30 mg/l.

Hodnoty pH se pohybují mezi 4,3-7, a to z nich činí kyselé až skoro neutrální vody. (Ghimire and Wang, 2018; Varjani et al. 2020). Nemalým rizikem je její vysoká teplota, a to až 60 °C, která může mít za následek tepelný šok pro vodní organismy a živočichy využívající vodu k životu (Ahmed et al., 2021; SUEZ Group ©2022).

Odpadní voda z ropného průmyslu se podle jejího využití v neznečištěném stavu dá rozdělit na procesní a neprocesní. Procesní odpadní voda pochází z procesu rafinace a zpracování ropy a v mnoha případech přímo ze samotné ropy. Naopak neprocesní je pouze voda, která nebyla v přímém kontaktu s ropou a je to například voda používána pro proplach strojů či zařízení nebo zkapalněná pára z chladících věží. Oba druhy jsou separovány a odváděny jinými cestami, z důvodu rozdílných složení, aby byl proces čištění co nejjednodušší a nejrychlejší (Singh et al., 2019).

Druhy znečišťujících látek a jejich procentuální zastoupení v odpadní vodě nezávisí pouze na druhu výroby v ropných rafinériích ale zároveň na procesu zpracování ropy. K zpracování ropy se využívá více metod, kterými mohou být například krakování, destilace, izomerizace či využití koksu. Při krakování se do vody dostávají látky jako sirovodík, čpavek, či fenol. Destilace má obdobné parametry, je ovšem obohacena o amoniak a chloridy. Izomerizace jako jediná vytváří silně žíravou vodu s obsahem chloridu vápenatého, čpavku a sirovodíku. Při využívání koksu se do vody dostávají nejvíce pevné nerozpuštěné látky a společně s nimi sirovodík a čpavek. (Singh et al., 2019).

Při těžbě ropy je produkce odpadních vod velmi velká a může být až desetinásobně vyšší než samotná produkce ropy. Tato voda je používána pro další těžbu ropy či plynu právě pomocí vstříkávání do vrtů. Složení odpadní vody může být různé v závislosti na geologickém útvaru a její obsah může být obohacen o toxické látky z přírodního zdroje, aromatické látky, organické kyseliny nebo fenoly či kovy. Právě aromatické látky jsou jedny z hlavních kontaminantů odpadních vod v petrochemickém průmyslu a jejich vliv na člověka je závažný. Zdravotní komplikace, které mohou nastat jsou rozdílné ať už jde o podráždění očí, sliznice nebo kůže může jít o závažnější problémy, kterými mohou být například zhoršení funkce kostní dřeně nebo dokonce zvýšený výskyt rakoviny. Karcinogenním je právě benzen, který je velmi toxický a vstřebává se kůží nebo je obsažen v pitné vodě. Světové zdravotní organizace umístila benzen na 6. místo v seznamu nebezpečných látek. (Costa et al., 2012 ; Singh et al., 2019).

Avšak při následném zpracování ropy v rafineriích jsou produkovány další odpadní vody obsahující mnoho dalších toxických látek nevyjímaje fenolů, které mají negativní vliv na lidský organismus. U lidí mohou vyvolat průjmy, problémy se zrakem nebo pocit kyselosti v ústech. Lidé však nejsou jediní, kteří mohou být ohroženi odpadní vodou z tohoto průmyslu. Do půdy se nebezpečné látky mohou dostat v důsledku nesprávné manipulace při převozu nebo zpracování přímo v rafinerii. V blízkosti ropných rafinerií jsou tak zhoršeny podmínky pro život fauny i flóry a odpadní voda, která je vypuštěna do vodního toku negativně ovlivňuje život ve vodě. Mastnota a oleje zabráňují pronikání světla a silně omezují množství kyslíku ve vodě, což samozřejmě není jediným problémem. Chemikálie stejně jako u lidí mohou i u živočichů působit karcinogenně a způsobovat různé mutace (Pichtel, 2016; Singh, 2019).

Jak již bylo zmíněno, veškeré odpadní vody z petrochemického průmyslu jsou velmi rozdílné. I přesto se jako první krok při čištění odpadních vod využívá fyzikálních metod pro odstranění uhlovodíků. K tomuto kroku se využívá adsorpce aktivním uhlím či zeolitem. Pro samotné čištění se v nejvíce využívá provzdušňování rozpuštěným vzduchem s přidanými činidly, koagulace či biologické čištění pomocí aktivního kalu či pomocí digesce za přítomnosti vzduchu. Tyto konvenční způsoby čištění odstraní 80–98 % všech znečišťujících látek (Yu et al., 2017; Ghimire and Wang, 2018).

## **9.6 Potravinářský průmysl**

Odpadní vody z potravinářských závodů jsou občas velmi podceňované, ovšem jejich dopad na životní prostředí je obrovský stejně jako u jiných průmyslů. Tyto vody jsou netoxické a látky v ní obsažené jsou velice snadno odbouratelné biologickými procesy. Největší problém odpadních vod z potravinářství nastává při chemické spotřebě kyslíku, ta se může vyšplhat až na rekordních 375 000 mg/l. Ne všechny odpadní vody z tohoto průmyslu jsou totožné, záleží hlavně na specializaci zpracovatelského závodu (Cristian et al., 2010). Obecně platí že se v těchto odpadních vodách vyskytuje velké množství organických látek, dále fosfor či chlór. Spektrum znečišťujících látek je velmi pestré, protože při zpracovávání potravin prochází výrobky více procesy. Těmito procesy jsou mytí a dezinfekce potravin, při které se dostávají do vody například kamínky a listí. Následným procesem je samotné zpracovávání, při kterém

se do odpadních vod dostávají velmi různorodé látky v závislosti na potravinářském závodu. Posledním procesem je mytí nástrojů a nádobí. Při závěrečném kroku se do vody dostanou mycí prostředky, tuky a oleje (Pan et al., 2022).

Největšími znečišťovateli v tomto odvětví jsou mlékárenské závody, které vyrábí mnoho různých výrobků od mléka, přes sýry po máslo. Toto odvětví má také velmi vysokou spotřebu vody, pro představu její spotřeba činí až 10 litrů na jeden litr mléka. Odpadní vody z mlékárenských závodů obsahují velké množství bílkovin, laktózy a lipidů. Všechny tyto látky jsou jednoduše biologicky odbouratelné, proto ve většině případech stačí nenákladné biologické čištění (Goli et al., 2019). Druhým velkým znečišťovatelem jsou masokombináty, které spotřebovávají více než 60 milionů litrů vody za rok, přičemž součástí výrobků je jen mizivé množství. Odpadní vody z masných výroben obsahují velké množství chlupů, peří, masa či hnoje. Tyto látky jsou biologicky neodbouratelné a musí se využít jiných čistících metod. Vody z masokombinátů, ovšem obsahují i biologicky snadno odbouratelné látky jako například bílkoviny či tuky. Díky tlejícímu masu se ve vodě mohou začít šířit střevní paraziti jako například škrkavka dětská (Sroka et al., 2004; Cristian et al., 2010).

Pokud by měly být takto znečištěné odpadní vody vypouštěny do vodních toků je zcela pravděpodobné, že by nedošlo pouze k poškození životního prostředí ale i lidského zdraví. Pokud nejsou odpadní vody z potravinářského průmyslu dostatečně upraveny, mohou způsobit eutrofizaci vodní toku a zhoršit tak životní podmínky pro organismy ve vodním prostředí. Odpadní voda se dále může použít k zavlažování a dostat se tak na zemědělské půdy. V důsledku použití vody k zavlažování může dojít k znehodnocení pěstovaných plodin. Konzumace plodin může zapříčinit různá onemocnění u lidí i zvířat, a to především pokud odpadní voda obsahuje patogenní bakterie (Pan et al., 2022).

Čištění odpadních vod probíhá fyzikálními, chemickými i biologickými procesy. Nejvíce jsou využívány biologické metody, hlavně kvůli jednoduše odbouratelnosti většiny odpadních látek ve vodě. Velkým pomocníkem je metoda využití biofilmu, kdy je odpadní voda v kontaktu s mikroorganismy, které z vody dokáží odbourat organické znečištění a snížit hodnotu CHSK až o 97 % (Pan et al., 2022).

## 10. Diskuse

Celý proces čištění odpadních vod je velmi sofistikovaný a náročný ale poměrně účinný proces. I přes velkou pomoc čističek odpadních vod k zamezení znečišťování životního prostředí jsou na světě stále oblasti, které nejsou dostatečně obeznámeny s touto problematikou. Dle údajů z Českého statistického úřadu bylo v roce 2021 připojeno ke kanalizaci více než 87 % osob trvale žijících v domech. Zbýlých 13 % obyvatel tudíž na veřejnou kanalizaci napojeno není (ČSÚ ©2022). Tyto osoby mohou bydlet například v chatových oblastech či na samotách daleko od měst. Kvůli velkým vzdálenostem mezi těmito oblastmi není příliš výhodné kanalizace vybudovat. Řešením by ovšem mohlo být zvyšování dotací na domácí čističky odpadních vod a lepšího přístupu k nim. Lidé by poté mohly zvažovat výstavbu domácí čističky více, neboť by to pro ně nebylo tolik finančně náročné a ušetřili by si čas se zajišťováním fekální cisterny pro odvoz obsahu jímky.

Odpadní vody a zejména ty průmyslové jsou velmi velkým problémem hlavně pro živé organismy. V průmyslových odpadních vodách se nachází mnoho znečišťujících látek, které negativně působí nejen na lidský organismus, ale také na živočichy žijící ve vodě i na souši, na čemž se shodují autoři studií, které jsem citoval ve své bakalářské práci jako například Samal et al., 2022 či Kant, 2012. Lidský organismus mohou znečišťující látky působit podrážděním očí či kůže, mohou mít ovšem i fatálnější následky jako například zvýšení rizika vzniku rakoviny (Costa et al., 2012; Singh et al., 2019). Vznik rakoviny může být způsoben hlavně díky velkému množství toxických a karcinogenních látek, zejména z průmyslu textilního, farmaceutického a petrochemického.

Průmyslové odpadní vody nejsou rizikové jen pro lidi, ještě větší nebezpečí hrozí hlavně vodním živočichům, jelikož jsou prvními organismy vystavenými účinkům znečištěných vod. Největší nebezpečí pro vodní živočichy spočívá ve zvyšující se eutrofizaci vod a tím zhoršujícím se podmínkám pro život, jako je horší viditelnost či nedostatek kyslíku. Některé látky mohou dokonce způsobit genetické změny v populaci ryb nebo dokonce ovlivnit vývoj pohlavních znaků (Toczyłowska-Mamińska, 2017). Tyto negativní vlivy mohou zapříčinit úhyn ryb a dle mého názoru by mohlo dojít i k případnému ohrožení některých druhů natolik, aby jim v nedaleké

budoucnosti hrozilo vyhynutí v případě, že se problematika odpadních vod z průmyslu nebude řešit ještě více.

Z hlediska účinnosti čištění odpadních vod nastává velký problém. Znečišťujících látek je velké množství, a ne na každou z nich je možné využití stejné čistící metody. Pro odstranění pevných a organických látek je například nemožné využít chemické čištění, a je nutností vodu přechistit mechanicky a hlavně biologicky. Naopak, jedná-li se o znečištění anorganickými látkami či vysokou kyselost vody je nejvhodnější využít chemické procesy. Účinnost přečištění vod nezávisí pouze na zvolené metodě, ale hlavně na jakosti a množství znečištěné vody.

Pro zlepšení účinnosti je vhodné dle mého investovat více financí a času k výzkumu nových technologií a postupů v oblasti čištění odpadních vod. Navrhl bych se zaměřit hlavně na výzkum mechanických, chemických a biologických čistících metod. Každá ze zmíněných metod je samostatným krokem v čistícím procesu a pokud by se vynalezla vhodná kombinace všech těchto tří metod, mohlo by se čištění odpadních vod posunout na vyšší úroveň a zároveň by se mohl ušetřit čas a díky tomu přečistit více odpadní vody denně, než je tomu doposud. V dnešní době se vyvíjí nové technologie, které by mohly odstranit z odpadních vod špatně čistitelné látky nebo biologické nečistoty. Velké množství nových technologií pracuje na bázi membránových technologií jako filtrace či membránová separace. Velký pokrok je dle mého i v oblasti sedimentace a následné asanaci usazených látek.

Dobrým příkladem v oblasti nakládání s odpadními vodami je automobilka Ford, která by se mohla dle mého stát příkladem pro jiné průmysly a závody. Firma Ford si stanovila za cíl ušetřit značné množství vstupní vody využívané pro výrobu automobilových komponentů. Tento cíl se jim podařilo zvládnout za pouhý jeden rok a ušetřili více jak 30 % vody na každý jeden automobil. Tohoto výsledku automobilka dosáhla hlavně díky zdařilé recirkulaci a znovuvyužití již použité vody z výroby. Pokud by si i ostatní závody, nejen v automobilovém průmyslu, daly za cíl alespoň trochu snížit svou spotřebu vstupní vody při výrobě či zavézt do svých výrobních procesů recirkulaci již využitou vody, jistě by to mělo velmi pozitivní vliv na zlepšení životního prostředí.



## 11. Závěr

Primárním cílem bakalářské práce bylo zpracování uceleného textu na téma odpadních vod. Ke splnění tohoto cíle bylo využito mnoho zahraničních odborných článků a knih, které byly doplněny internetovými zdroji. Ze všech těchto zdrojů byly vytvořeny kapitoly, které se podrobně zabývají problematikou spojenou právě s odpadními vodami. Podstatná část byla věnována historii odpadních vod, která sahá od starověku až po 2. tisíciletí našeho letopočtu. Ke splnění cíle byly dále vytvořeny kapitoly popisující nakládání s odpadními vodami v současnosti a jak tyto odpadní vody ovlivňují životní prostředí a zdraví lidské společnosti.

Rešerše dokázala, že nakládání s odpadními vodami je důležitým aspektem v ochraně životního prostředí. Proces čištění odpadních vod je velmi účinný, avšak je zde mnoho lidí, kteří se vlastní odpadní vodou příliš nezaobírají. Prevence před neohleduplným chováním lidí vůči krajině a zdraví jak lidí, tak zvířat má na starosti opět hlavně společnost a zejména vládní představitelé států, kteří mají právo zavádět a rušit zákony v oblasti životního prostředí.

## Přehled literatury a použitých zdrojů

1. Ahmed J., Thakur A., and Goyal A., 2021: Industrial wastewater and its toxic effects. *Biological Treatment of Industrial Wastewater*, pages 1–14.
2. Aly O. H. I., 2015: A new development of wastewater treatment unit for paint shop in vehicle industry. *International Journal of Sciences Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 21(1):15–25.
3. Angelakis A. N. and Rose J. B., 2014: Evolution of sanitation and wastewater technologies through the centuries. IWA Publishing.
4. Ashrafi O., Yerushalmi L., and Haghghat F., 2015: Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. *Journal of environmental management*, 158:146–157.
5. Azema N., Pouet M-F., Berho C., and Thomas O., 2002: Wastewater suspended solids study by optical methods. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 204(1-3):131–140.
6. Bahuguna A., Singh S., Bahuguna A., Sharma S. and Dadarwal B., 2021: Physical method of wastewater treatment-a review. *J. Res. Environ. Earth Sci*, 7:2348–2532.
7. Balabanič D., Filipič M., Klemenčič A. K. and Žegura B., 2017: Raw and biologically treated paper mill wastewater effluents and the recipient surface waters: cytotoxic and genotoxic activity and the presence of endocrine disrupting compounds. *Science of the total environment*, 574: 78–89.
8. Bartleson B., 2017: Potassium Permanganate Water Treatment (online) [cit.2023.03.17], dostupné z <<https://sciencing.com/advantages-and-disadvantages-of-chemical-water-treatment-12372179.html>>.
9. Beler-Baykal B., 2015: Stream segregation in household use: a review of grey water as an alternative source of water and yellow water as an alternative source of fertilizers. *Water Quality, Exposure and Health*, 7(1):27–37.

10. Bilotta G. S. and Brazier R. E., 2008: Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water research*, 42(12):2849–2861.
11. Boyles W., 1997: Chemical oxygen demand. Technical information series, Booklet, (9), 24.
12. Bugajski P., Operacz A., Mlýnski D., Walega A. and Kurek K., 2020: Optimizing treatment of cesspool wastewater at an activated sludge plant. *Sustainability*, 12(23):10196.
13. Burian S. J. and Edwards F. G., 2002: Historical perspectives of urban drainage. In *Global solutions for urban drainage*, pages 1–16. GeoSyntec.
14. Carrillo V., Fuentes B., Gómez G. and Vidal G., 2020: Characterization and recovery of phosphorus from wastewater by combined technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19:389–418.
15. CONNECTICUT'S OFFICIAL STATE WEBSITE ©2022: Department of Energy and Environmental Protection: Agricultural Wastewater (online) [cit.2022.11.12], dostupné z <<https://portal.ct.gov/DEEP/Water-Regulating-and-Discharges/Agricultural-Wastewater>>
16. Costa A. S., Romão L. P. C., Araújo B. R., Lucas S. C. O., Maciel S. T. A., Wisniewski Jr A. and Alexandre M. R., 2012: Environmental strategies to remove volatile aromatic fractions (btex) from petroleum industry wastewater using biomass. *Bioresource Technology*, 105:31–39.
17. Crini G. and Lichtfouse E., 2019: Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17:145–155.
18. Cristian O. et al., 2010: Characteristics of the untreated wastewater produced by food industry. *Analele Universității din Oradea, Fascicula: Protecția Mediului*, 15:709–714.
19. ČSÚ, 2022: Kanalizace – obyvatelé napojení na kanalizaci a ČOV (online) [cit.2023.03.24], dostupné z <<https://www.czso.cz/documents/10180/164986103/2800212206.pdf/e0c8fba4-13a3-410f-9a64-2946f2825fc1?version=1.1>>.

20. Dsikowitzky L. and Schwarzbauer J., 2013: Organic contaminants from industrial wastewaters: identification, toxicity and fate in the environment. In *Pollutant diseases, remediation and recycling*, pages 45–101. Springer.
21. Du Y., Song K., Wang Q., Li S., Wen Z., Liu G., Tao H., Shang Y., Hou J., Lyu L., et al., 2022: Total suspended solids characterization and management implications for lakes in east china. *Science of The Total Environment*, 806:151374.
22. Dvorský T., Václavík V. and Hlušík P., 2016: Waste water treatment in north moravia and silesia, from the past to the present. In *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies II*, pages 407–412. CRC Press.
23. EGESIS, ©2023: Automotive industry: Wastewater Treatment Plant for Automotive Company (online) [cit.2023.02.20], dostupné z <<https://thewastewater.com/automotive-industry/>>.
24. Evropský parlament, ©2021: Zpravodajství: Rychlá móda a textilní výroba - jaký mají dopad na životní prostředí (infografika) (online) [cit.2023.02.17], dostupné z <<https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20201208STO93327/jak-dopada-vyroba-textilu-na-zivotni-prostredi-infografika>>.
25. Florescu D., Iordache A. M., Costinel D., Horj E., Ionete R. E. and Culea M., 2013: Validation procedure for assessing the total organic carbon in water samples. *Rom. Journ. Phys*, 58(1-2):211–219.
26. Gasperi J., Garnaud S., Rocher V. and Moilleron R., 2008: Priority pollutants in wastewater and combined sewer overflow. *Science of the total environment*, 407(1):263–272.
27. Ghimire N. and Wang S., 2018 Biological treatment of petrochemical wastewater. *Petroleum Chemicals-Recent Insight*, pages 55–74.
28. Goli A., Shamiri A., Khosroyar S., Talaiekhosani A., Sanaye R., Azizi K., 2019: A review on different aerobic and anaerobic treatment methods in dairy industry wastewater. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 7(1):113–41.

29. Grady Jr P. L., Daigger G. L., Love N. G. and Filipe C. D. M., 2011: Biological wastewater treatment. CRC press.
30. GRAF, ©2023: Lexicon: Ammonium (NH<sub>4</sub>-N) (online) [cit.2023.02.16], dostupné z <<https://www.graf.info/en/rainwater-harvesting/all-about-rainwater-harvesting/lexicon/ammonium-nh4-n-1.html>>.
31. Guo Y., Qi P. S. and Liu Y. Z., 2017: A review on advanced treatment of pharmaceutical wastewater. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, volume 63, page 012025. IOP Publishing.
32. Güven D., Hanhan O., Aksoy E. C., Insel G. and Çokgör E., 2017: Impact of paint shop decanter effluents on biological treatability of automotive industry wastewater. Journal of hazardous materials, 330:61–67.
33. Hach C. C., Klein Jr R. L. and Gibbs C. R., 1997: Biochemical oxygen demand. Tech. Monogr, 7.
34. Hassan M. A., Li T. P. and Noor Z. Z., 2009: Coagulation and flocculation treatment of wastewater in textile industry using chitosan. Journal of chemical and natural Resources Engineering, 4(1):43–53.
35. Henze M. and Comeau Y, 2008: Wastewater characterization. Biological wastewater treatment: Principles modelling and design, pages 33–52.
36. Huang J., Kankanamge N. R., Chow C., Welsh D. T., Li T. and Teasdale P. R., 2018: Removing ammonium from water and wastewater using cost-effective adsorbents: A review. Journal of Environmental Sciences, 63:174–197.
37. Hussain J., Hussain I. and Arif M., 1970: Characterization of textile wastewater. I Control Pollution, 20(1).
38. Hydrotech, ©2023: How do the wastewater treatment plants (WWTPs) work? (online) [cit.2023.02.27], dostupné z <<https://www.hydrotech-group.com/blog/how-do-the-wastewater-treatment-plants-wwtps-work>>.
39. Chang M., 2013: Forest hydrology: an introduction to water and forests. CRC press.

40. Chigare R., Kamat S. and Patil J., 2019: A review of the automobile industries wastewater treatment methodologies. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(6):974–977.
41. Chmelová R., Frajer J. *Základy fyzické geografie 1: Hydrologie*. Univerzita Palackého v Olomouci, 2013.
42. Ing. Kraus M., 2021: Co je septik a kdy ho vybrat (online) [cit.2023.02.26], dostupné z <<https://zakra.cz/blog/co-je-septik/>>.
43. Isaiah D., 2014: Water, water, everywhere in vehicle manufacturing (online) [cit.2023.02.20], dostupné z <<https://www.automotiveworld.com/articles/water-water-everywhere-vehicle-manufacturing/>>.
44. Jadhav A. L., Saraf R. V. and Dakhore A. N., 2021: Energy recovery from waste water treatment plant sludge. *Materials Today: Proceedings*, 42:1224–1229.
45. Joy D., Weil C., Crolla A., and Bonte-Gelok S., 2001: New technologies for on-site domestic and agricultural wastewater treatment. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28(S1):115–123.
46. Kamali M. and Khodaparast Z., 2015: Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. *Ecotoxicology and environmental safety*, 114:326–342.
47. Kant R., 2012: Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*, 4, 22-26.
48. Kraus M., 2019: Jak vyřešit odpad u rodinného domu a novostavby (online) [cit.2022.12.30], dostupné z <<https://zakra.cz/blog/likvidace-odpadnich-vod/>>.
49. Kroiss H., Rechberger H. and Egle L., 2011: Phosphorus in water quality and waste management. In *Integrated Waste Management-Volume II*, pages 181–214. IntechOpen.
50. Kumar S. and Ankaram S., 2019: Waste-to-energy model/tool presentation. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, pages 239–258. Elsevier.

51. Lefebvre O. and Moletta R., 2006: Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a literature review. *Water research*, 40(20):3671–3682.
52. Li F., Wichmann K. and Otterpohl R., 2009: Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the total environment*, 407(11):3439–3449.
53. Lofrano G. and Brown J., 2010: Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment*, 408(22):5254–5264.
54. Maine Environmental Laboratory LLC ©2023: Total Organic Carbon (online) [cit.2023.02.16], dostupné z <<https://maineenvironmentallaboratory.com/?p=1095>>.
55. Malik O. A., Hsu A., Johnson L. A., and de Sherbinin A., 2015: A global indicator of wastewater treatment to inform the sustainable development goals (sdgs). *Environmental Science & Policy*, 48:172–185.
56. Marcos Von Sperling. *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. IWA publishing.
57. Mareddy A. R. D., Shah A. and Davergave N., 2017: *Environmental impact assessment: theory and practice*. Butterworth-Heinemann.
58. Mazumder D. and Mukherjee S., 2011: Treatment of automobile service station wastewater by coagulation and activated sludge process. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2(1):64.
59. Meng S., Wen S., Han G., Wang X. and Feng Q., 2022: Wastewater treatment in mineral processing of non-ferrous metal resources: a review. *Water*, 14(5):726.
60. Murphy S., 2007: General Information on Solids (online) [cit.2023.02.16], dostupné z <<http://bcn.boulder.co.us/basin/data/NEW/info/TSS.html>>.
61. Nařízení vlády č. 57/2016 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních.
62. Ng W. J., 2006: *Industrial wastewater treatment*. World Scientific.

63. Pal P., 2017: Industrial water treatment process technology. Butterworth-Heinemann.
64. Pan D., Song Y., Liu C. and Guo Z., 2022: Research progress on wastewater treatment in food industry: A mini-review. *ES Food & Agroforestry*, 10:10–23.
65. Patwardhan A. D., 2017: Industrial wastewater treatment. PHI Learning Pvt. Ltd.
66. Penn M. R., Pauer J. J. and Mihelcic J. R., 2009: Biochemical oxygen demand. *Environmental and ecological chemistry*, 2:278–297.
67. Pichtel J., 2016: Oil and gas production wastewater: Soil contamination and pollution prevention. *Applied and Environmental Soil Science*.
68. Puretec Industrial Wastewater, ©2023: What is Reverse Osmosis? (online) [cit.2023.02.23], dostupné z <<https://puretecwater.com/reverse-osmosis/what-is-reverse-osmosis>>.
69. Qasim S. R. and Zhu G., 2007: Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples, Volume 2: Post-Treatment, Reuse, and Disposal. CRC press, 2017.
70. Rahimi S., Modin O. and Mijakovic I., 2020: Technologies for biological removal and recovery of nitrogen from wastewater. *Biotechnology Advances*, 43:107570.
71. RAVOS, s.r.o, ©2022: Odpadní voda (online) [cit.2022.11.10], dostupné z <<https://www.ravos-sro.cz/vse-o-vode/odpadni-voda/>>
72. Rowe G., 20121: What is a Cesspit? (online) [cit.2023.26.02], dostupné z <<https://www.asllimited.co.uk/drainage-blog/what-cesspit>>.
73. Samal K., Mahapatra S. and Ali M. H., 2022: Pharmaceutical wastewater as emerging contaminants (ec): Treatment technologies, impact on environment and human health. *Energy Nexus*, page 100076.
74. Samer M., 2015: Biological and chemical wastewater treatment processes. *Wastewater treatment engineering*, 150:212.



75. Shah A. and Shah M., 2020: Characterisation and bioremediation of wastewater: a review exploring bioremediation as a sustainable technique for pharmaceutical wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*, 11: 100383.
76. Singh A. K., Kumar A., Bilal M. and Chandra R., 2022: Environmental pollutants of paper industry wastewater and their toxic effects on human health and ecosystem. *Bioresource Technology Reports*, page 101250.
77. Singh R. L., Singh R. P., Gupta R. and Singh R. L., 2019: Advances in biological treatment of industrial waste water and their recycling for a sustainable future. Springer.
78. Smart Water Magazine, ©2023: What is a WWTP? (online) [cit.2023.02.27], dostupné z <<https://smartwatermagazine.com/q-a/what-a-wwtp>>.
79. Sroka E., Kamiński W. and Bohdziewicz J., 2004: Biological treatment of meat industry wastewater. *Desalination*, 162:85–91.
80. SUEZ ©2022: industrial processes and effluent treatment: refinery (online) [cit.2022.12.27], dostupné z <<https://www.suezwaterhandbook.com/processes-and-technologies/industrial-processes-and-effluent-treatment/oil-industry/refinery>>
81. Thomas O. and Thomas M., 2022: Industrial wastewater. In *UV-Visible Spectrophotometry of Waters and Soils*, pages 385–416. Elsevier.
82. Toczyłowska-Mamińska R., 2017: Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78:764–772.
83. van Voorthuizen E., Zwijnenburg A., van der Meer W. and Temmink H., 2008: Biological black water treatment combined with membrane separation. *Water research*, 42(16):4334–4340.
84. Varjani S., Joshi R., Srivastava V. K., Ngo H. H. and Guo W., 2020: Treatment of wastewater from petroleum industry: current practices and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (22):27172–27180.
85. Veronica – ekologický institut: Přírodní čištění vody, 2010

86. Vyhláška č. 252/2004 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody
87. Walling E., Moerman W., Verstraete W., Gomez D. K. V., and Vaneeckhaute C., 2022: Resource recovery from industrial wastewater: what and how much is there? In Resource recovery from water: principles and application, pages 21–48. IWA.
88. Withers P. J. A., Jordan P., May L., Jarvie H. P. and Deal N. E., 2014: Do septic tank systems pose a hidden threat to water quality? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(2):123–130.
89. Yu L., Han M. and He F., 2017: A review of treating oily wastewater. *Arabian journal of chemistry*, 10:S1913–S1922.
90. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění.